

风力发电机组混塔施工技术的研究与应用的探讨

陈良勇

中国电建集团核电工程有限公司 山东 济南 250000

摘要: 本文基于讷河市东庆兴旺10万千瓦风电项目的实际施工背景,深入探讨了风力发电机组混塔施工技术的关键环节、技术要点及其在实际工程中的应用效果。通过分析地基处理、混塔制作与安装、二次灌浆、孔道注浆等核心施工步骤,结合项目具体的地质、气象条件及施工环境,提出了相应的施工优化措施。研究结果表明,科学合理的混塔施工技术不仅能有效保障风力发电机组的结构安全,还能显著提高施工效率,降低建设成本,为未来同类风电项目的建设提供了宝贵的参考经验。

关键词: 风力发电机组;混塔施工技术;预应力筋张拉;地基处理;施工优化

引言

随着全球能源转型的加速推进,风力发电作为清洁能源的重要组成部分,正迎来前所未有的发展机遇。在风力发电机组的建设中,塔筒作为支撑风机的重要结构,其设计与施工技术直接关系到机组的运行安全与稳定性。近年来,混合塔(简称混塔)因其结合了钢塔与混凝土塔的优点,逐渐成为大型风力发电机组的首选塔型。本文将以内江市东庆兴旺10万千瓦风电项目为例,对风力发电机组混塔施工技术进行深入探讨。

1 项目概况

讷河市东庆兴旺10万千瓦风电项目位于黑龙江省讷河市境内,总规划容量为100MW,共安装18台单机容量为5.56MW的风力发电机组,采用140米混塔加钢塔结构,既融合了混凝土塔段的稳固性,又发挥了钢塔段的灵活性与经济性。项目所处的地理位置得天独厚,地形平坦开阔,为风电机组的布局与安装提供了便利条件。此外,项目周边交通网络发达,无论是物资运输还是人员流动均高效顺畅,确保了施工进程的快速推进。

2 混塔结构设计特点

混塔结构通常由底部混凝土塔段和上部钢塔段组成,底部混凝土塔段主要承受轴向压力和弯矩,而上部钢塔段则更利于运输和安装。这种结构设计充分发挥了混凝土材料的高抗压强度和钢材的高抗拉强度的优势,同时降低了塔筒的自重和制造成本^[1]。

3 混塔施工技术要点

3.1 混凝土塔筒施工

混凝土塔筒的施工主要包括模板安装、钢筋绑扎、混凝土浇筑与养护等步骤。在模板安装过程中,需要精确控制模板的垂直度和平整度,确保模板之间接缝严密,防止漏浆现象的发生。同时,应使用专用的紧固系

统对模板进行加固,以保证在混凝土浇筑过程中模板不会变形或移位;钢筋绑扎应满足设计要求,确保钢筋位置准确、间距均匀。在钢筋绑扎前,应仔细核对钢筋规格、型号和数量,确保符合设计要求。绑扎过程中,要保持钢筋位置准确、间距均匀,特别是受力钢筋的位置必须严格控制。同时,要加强钢筋接头的处理,确保接头质量可靠,符合规范要求;对于混凝土浇筑施工在浇筑前,应检查模板、钢筋等是否验收合格,并做好隐蔽工程验收记录。浇筑时,应采用分层浇筑法,每层厚度不宜超过50cm,以利于混凝土的散热和振捣。振捣过程中,要确保混凝土内部无气泡、无空洞,达到密实度要求。混凝土浇筑完成后,应及时进行养护工作。养护期间应保持混凝土表面湿润,避免水分过快蒸发导致干缩裂缝的产生。养护时间应根据天气情况、混凝土强度等级和配合比等因素确定,一般不少于7天。在养护期间,应定期检查混凝土表面情况,发现问题及时处理^[2]。

3.2 地基处理

地基处理是混塔施工的基础,直接关系到塔筒的稳定性。本项目采用预制桩技术,首先根据地质勘察结果确定桩位,然后进行预制桩的制作与运输。预制桩制作过程中,严格控制混凝土配合比和钢筋笼的制作质量。在施工过程中,利用专业设备将预制桩打入地基,确保桩的垂直度和深度满足设计要求。随后进行桩基检测,确保承载力满足风力发电机组塔筒的安装要求。

3.3 风机基础施工

风机基础是风力发电机组的重要组成部分,其稳定性和承载力直接影响到机组的运行安全和寿命。首先,根据地质勘察结果和风力发电机组的设计要求,进行风机基础的设计。设计需充分考虑地基的承载能力、变形特性以及地震作用等因素,确保基础结构满足机组的

运行需求。基础开挖前,进行详细的现场勘察和测量放线,确定基础的准确位置。开挖过程中,采用机械与人工相结合的方式,确保基坑的尺寸和深度符合设计要求。同时,根据地质条件采取相应的支护措施,防止基坑坍塌。钢筋绑扎应严格按照设计图纸进行,确保钢筋规格、型号和数量正确,钢筋位置准确、间距均匀。受力钢筋的位置需特别控制,以确保基础结构的承载能力。模板安装需精确控制垂直度和平整度,使用专用紧固系统加固模板,防止浇筑过程中模板变形或移位。风机基础施工过程中,需加强对原材料、半成品和成品的检验与试验工作,确保材料质量符合设计要求。建立完善的质量管理体系和检查验收制度,对关键施工环节进行重点监控,并做好记录归档工作。特别是对混凝土的强度、钢筋连接质量等关键环节,需进行严格的检测与验收,确保风机基础结构的安全与稳定。

3.4 混凝土浇筑与养护

浇筑前,检查模板、钢筋等是否验收合格,并做好隐蔽工程验收记录。浇筑时,采用分层浇筑法,每层厚度控制在合理范围内,以利于混凝土的散热和振捣。振捣过程中,确保混凝土内部无气泡、无空洞,达到密实度要求。浇筑完成后,及时进行养护,保持混凝土表面湿润,避免干缩裂缝的产生。

3.5 预应力筋张拉

预应力筋张拉是混塔施工中的关键环节之一。在讷河市东庆兴旺项目中,预应力筋张拉采用了后张法施工。这一方法通过张拉预应力筋对混凝土构件施加预压应力,以改善结构的使用性能。在具体施工过程中,首先需确保张拉设备经过严格的标定和检验,以保证张拉力的准确传递。张拉机具必须按照设计要求的张拉力进行标定,并根据标定结果绘制“张拉力-油压力”曲线,以便于施工中的精确控制。张拉前,应对张拉区域进行全面检查,确保混凝土强度达到设计要求的100%,并提供有效的混凝土强度检测报告。同时,清理张拉端面,保持其干净整洁,防止杂质影响张拉效果。张拉过程中,应严格按照预定的张拉顺序进行,一般遵循先中间后两边、对称张拉的原则,以确保塔筒受力均匀。张拉时,应平稳、匀速地增加张拉力,避免力值突变导致构件受损。在达到设计张拉力后,需持荷一段时间进行锚固,以确保预应力筋与混凝土的粘结效果。此外,张拉过程中应密切关注构件的变形情况,一旦发现异常应立即停止张拉,并查找原因采取相应措施^[3]。

3.6 二次灌浆与孔道注浆

二次灌浆与孔道注浆是确保混塔结构整体性和耐久

性的重要措施。在混塔各节段连接处进行二次灌浆,填充空隙,提高连接强度。同时,对孔道进行注浆处理,增强结构的防水性和耐久性。

3.7 施工质量控制

施工过程中,应加强对原材料、半成品和成品的检验与试验工作,确保材料质量符合设计要求。建立完善的质量管理体系和检查验收制度,对关键施工环节进行重点监控,并做好记录归档工作。针对混凝土强度、钢筋连接质量、预应力张拉效果等关键环节,需进行严格的检测与验收,确保混塔结构的安全与稳定。为不断提升施工质量和管理水平,施工单位应建立QC小组,定期开展质量活动,如质量月等。通过总结经验教训,不断优化施工方案和工艺流程,提高施工效率和质量。同时,加强对施工人员的培训与教育,提高其专业技能和责任心,为项目的顺利进行提供有力保障^[4]。

4 施工难点与应对措施

4.1 大型构件运输与安装难度大

在讷河市东庆兴旺10万千瓦风电项目中,混塔的主要构件如混凝土塔筒段体积庞大、重量惊人,给运输和安装带来了巨大挑战。为了确保运输安全,项目团队采用了专业的大型运输车辆,并制定了详细的运输方案,确保构件能够顺利抵达施工现场。在安装过程中,项目团队严格遵循安装程序,采用专业的安装设备和工具,确保构件安装的准确性和稳定性^[5]。

4.2 预应力筋张拉控制复杂

在风力发电机组混塔施工过程中,预应力筋的张拉是一个极为关键的环节,它直接关系到塔筒结构的稳定性和耐久性。预应力筋的张拉控制不仅要求精确的力量施加,还需要严格的顺序把控,以确保整个塔筒在受力过程中保持均衡,避免局部应力集中导致的变形或开裂。

预应力筋张拉控制的复杂性主要体现在以下几个方面:第一是张拉力的精确控制。预应力筋的张拉力必须严格按照设计要求进行精确控制,任何微小的偏差都可能导致塔筒受力不均,进而影响其整体性能。这就要求张拉设备必须定期进行校准和维护,确保其在张拉过程中能够准确、稳定地输出预定力量。第二是张拉顺序的严格遵循。预应力筋的张拉顺序对于塔筒的受力状态有着重要影响。错误的张拉顺序可能导致局部预应力过大或过小,甚至引发结构破坏。因此,必须严格按照设计图纸和技术规范中规定的张拉顺序进行操作,确保每一步都准确无误。第三是张拉过程中的监控与记录。张拉过程中需要对关键参数进行实时监控,并记录相关数据,以便在出现问题时能够迅速追溯原因并采取措施。

这要求现场必须配备专业的监控设备和记录人员，确保张拉过程的每一个环节都能得到有效控制。

针对预应力筋张拉控制的复杂性，可以采取以下应对策略：一是组建专业张拉队伍。项目特别成立了专业的张拉队伍，成员均经过严格筛选和培训，具备丰富的张拉经验和专业知识。他们负责张拉设备的操作、监控和记录工作，确保张拉过程的规范性和准确性。二是配备先进张拉设备。这些设备不仅具备高精度的力量输出能力，还具备自动监控和报警功能。一旦张拉力偏离预定范围，设备将自动报警并停止工作，从而有效避免了人为操作失误导致的风险。三是加强张拉过程监控与记录。张拉过程中，项目安排专人进行现场监控和记录工作。他们密切关注张拉设备的运行状况和张拉力的变化情况，并及时记录相关数据。同时，他们还负责对张拉过程进行视频录像和拍照存档，以便后续分析和查阅^[6]。

4.3 注浆的控制

注浆过程需要严格控制注浆材料的配比、注浆压力以及注浆量，以确保注浆效果达到设计要求。首先，注浆材料的配比应根据工程实际情况和设计要求进行精确计算，确保注浆材料具有良好的流动性和粘结性。在施工过程中，应定期对注浆材料进行抽检，确保其质量稳定可靠。其次，注浆压力的控制也是关键。注浆压力过高可能导致注浆材料流失或破坏塔筒结构，而压力过低则可能无法充分填充空隙，影响注浆效果。因此，在注浆过程中，应使用专业的注浆设备，并配备压力表和流量计等监控设备，确保注浆压力在合理范围内波动。此外，注浆量的控制同样重要。注浆量不足会导致空隙未完全填充，影响塔筒结构的整体性和耐久性；而注浆量过多则可能产生不必要的浪费，甚至对塔筒结构造成不利影响。因此，在注浆前应根据实际情况进行精确计算，并在注浆过程中进行实时监控和调整。

针对注浆控制的复杂性，项目团队应采取以下措施：一是加强注浆人员的培训和管理，确保其具备专业

的技能和知识；二是建立完善的注浆施工管理制度和流程，确保注浆过程的规范性和可控性；三是加强注浆过程的监控和记录工作，以便及时发现问题并采取措施进行处理。

5 应用效果与总结

通过科学合理的混塔施工技术应用讷河市东庆兴旺10万千瓦风电项目顺利完成了风力发电机组的安装与调试工作并取得了良好的应用效果。

(1) 混塔结构稳定可靠有效保障了风力发电机组的运行安全；

(2) 施工过程安全可控未发生任何安全事故；

(3) 施工效率高成本低为项目节约了大量建设资金；

(4) 为同类风电项目的建设提供了宝贵的参考经验和技术支持。

综上所述风力发电机组混塔施工技术的应用与研究对于推动我国风电产业的发展具有重要意义。未来随着技术的不断进步和应用经验的不断积累混塔施工技术必将在更多领域得到广泛应用并取得更加显著的成效。

参考文献

- [1]张纪升,李涛,陈昊.陆上超高风电机组混合塔架施工技术研究——以大唐滑县枣村风电工程项目为例[J].工程技术研究,2022,7(23):29-31.
- [2]孟欣,许川川.风电机组混合塔筒施工关键技术[J].武汉大学学报(工学版),2021,54(S1):170-173.
- [3]李茂杰,刘文杰,张红雷,等.国家电投阜城120m混合塔架工程施工技术[J].建筑技术,2020,51(11):1293-1296.
- [4]徐惠.后张法无粘接预应力风机混合塔筒施工技术[J].安装,2019,(09):57-59.
- [5]杨静安,王相如.风电机组预应力混凝土与钢混合塔架施工技术[J].中国电力企业管理,2019,(15):88-90.
- [6]高胜勇,徐惠.风力发电机组反向平衡法兰安装施工技术研究与应[J].安装,2014,(02):32-35.